

Ruppersberg, Klaus

Dem Milchzucker auf der Spur – eine europäische Detektivgeschichte

Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule : PdN 65 (2016) 8, S. 30-33



Quellenangabe/ Reference:

Ruppersberg, Klaus: Dem Milchzucker auf der Spur – eine europäische Detektivgeschichte - In:
Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule : PdN 65 (2016) 8, S. 30-33 - URN:
urn:nbn:de:0111-pedocs-150938 - DOI: 10.25656/01:15093

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-150938>

<https://doi.org/10.25656/01:15093>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation

Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Dem Milchzucker auf der Spur – eine europäische Detektivgeschichte

K. Ruppersberg

Für den Nachweis von Milchzucker gibt es eine relativ unbekannte Reaktion, die im Europa des frühen 20. Jahrhunderts in drei verschiedenen Varianten durchgeführt wurde. Sie ist im Chemieunterricht mit äußerst einfachen Mitteln nachvollziehbar.

Stichwörter: Lactose-Nachweis, Wöhlk-Malfatti-Probe, Umikoff'sche Reaktion

1 Ein nebenbei entdeckter Nachweis für Lactose aus Kopenhagen

Im Oktober 1904 veröffentlichte Alfred Wöhlk, achtes von 11 Kindern der Eheleute Carl und Clara Wöhlk (geb. Knutzen), die Ergebnisse seiner Versuche an der Pharmazeutischen Lehranstalt Kopenhagen: „Ich löste ca. $\frac{1}{2}$ g Milchzucker in etwa 15 cc 10-prozentigem Ammoniak auf und erhitzte sofort bis zum Sieden. Es trat keine Farbenänderung ein, und ich hätte beinahe das Weiterverfolgen dieses Versuchs aufgegeben (...). Nach Verlauf einer halben Stunde beobachtete ich die Reagensgläser (sic!) und es zeigte sich dann, dass die eine Flüssigkeit von einer prachtvollen, lebhaft roten Farbe war.“ [1]. Im folgenden beschreibt Wöhlk, dass dieselbe rote Farbe

auch mit Maltose auftritt, während die meisten anderen untersuchten Zucker Gelbtöne in unterschiedlichen Nuancen ergeben (Abb. 1). Im Internet und in der fachdidaktischen Literatur gibt es Autoren, die der Reaktion mit Galactose ebenfalls eine rote Farbe zuschreiben [2, 3, 4]: „Die Farbreaktion dauert hier (i. e. bei einem Gemisch von Glucose und Galactose, d. Aut.) etwas länger, es ist aber auch hier eine deutliche rosafärbung (sic) erkennbar und zeigt das Vorhandensein der Galactose an.“ [3]. Dies ist, wie schon von Wöhlk 1904 ausgeführt, unrichtig.

2 Die Verbesserung und eine wichtige Anwendung aus Innsbruck

Ein Jahr später veröffentlicht der Innsbrucker Urologie-Professor Malfatti eine kleine, aber entscheidende Verbesserung der Methode, die entscheidend zum Einzug

in urologische Arztlabore und pharmazeutische Praktika beigetragen hat: „Zu zirka 5 cm³ ($\frac{1}{4}$ Epruvette voll) des zu untersuchenden Harnes fügt man etwa die Hälfte seines Volumens starke Ammoniakflüssigkeit auf und etwa 5 Tropfen Kalilauge, worauf man das Ganze in ein heißes, aber nicht siedendes Wasserbad stellt und die oft schon nach 5 Minuten auftretende, allmählich sich verstärkende Rotfärbung beobachtet.“ [5].

Warum interessiert sich ausgerechnet ein Urologieprofessor für einen Lactosenachweis? Die Antwort gibt der am 18.8.1864 in Rovereto (nordöstlich vom Gardasee) geborene Johann (Hans) Baptist Malfatti, der am 18.1.1945 ebendort verstarb, selbst: „Gar nicht selten tritt an den Harnanalytiker die Frage heran, ob eine reduzierende Substanz im Harn Milchzucker oder Traubenzucker sei, oder mit anderen Worten: ob sich im konkreten Falle im Verlaufe der Schwangerschaft Diabetes entwickelt habe, oder ob ein harmloser Fall von Lactosurie (Milchstau, d. Aut.) vorliegt.“

Unzählige Krankenhaus- und Arztlabore [6] verwendeten seitdem diese Methode, die korrekt als Wöhlk-Malfatti-Reaktion zu bezeichnen wäre, bis in die 1980er Jahre hinein, obwohl sie schon seit den 1950er Jahren durch aussagekräftigere chromatographische Methoden ersetzt wurde [7]. Im Jargon der Pharmaziestudenten heißt sie häufig einfach nur „Wöhlk-Probe“.

Wöhlk wechselte 1910 vom der Pharmazeutischen Lehranstalt zur heute noch bestehenden Triangeln-Apotheke in Kopenhagen (Abb. 2), die er bis zu seinem Tod am 2.3.1949 leitete.

Eigene Versuche haben ergeben, dass bei der Wöhlk-Malfatti-Probe 2 mL 10%ige Ammoniaklösung und 3 Tropfen 1-molare Kalilauge völlig ausreichend sind. Höhere Konzentrationen sollte man tunlichst vermeiden, da eine wässrige Maillard-Reaktion mit unschönen braun-schwarzen Ergebnissen die Folge sein kann.

Wöhlk: Über eine neue Reaktion auf Milchzucker (und Maltose). 675

Kohlehydrat	Farbennuance nach Erhitzen im Dampfbad während 15–20 Minuten
Reine Glukose	harngelb.
„ Maltose	krapprot.
Hydrolisierte Maltose*)	strohgelb.
Lösliche Stärke oder Amylodextrin	beinahe farblos.
Hydrolisierte Stärke*)	hellgelb.
Rohes Handelsdextrin	braun.
Hydrolisiertes Handelsdextrin*)	gelbbraun.
Reine Galaktose	gelb.
Reiner Milchzucker	krapprot.
Hydrolisierter Milchzucker	hellgelb.
Reine Fruktose	gelb.
Hydrolisierter Rohrzucker*)	lebhaft gelb.
Hydrolisierte Raffinose*)	gelb.
Reine Sorbinose	hellgelb.
Reine Xylose	strohgelb.
Reine Arabinose	strohgelb.
Gummi arabicum	farblos.
Hydrolisiertes Gummi arabicum*)	gelb.

Abb. 1: Ergebnisse mit 10 mL 10%iger Ammoniaklösung und 0,5 g wasserfreier Zucker [1]. Die heutzutage eher unbekannte Krappfarbe kann man am ehesten mit Lachsrot (RAL 3022) erklären.



Abb. 2: Alfred Wöhlk im Kreise seiner Mitarbeiter in der Triangeln-Apotheke, Nordre Frihavnsgade 3 in Kopenhagen.

Foto: Privatarchiv von Poul Nissen

3 Ähnliche Experimente mit Muttermilch aus St. Petersburg

Bei einer gründlichen Recherche in älteren Schriften der Universitätsbibliothek Kiel und in mittlerweile in USA eingescannten alten Büchern fanden sich Hinweise, dass Wöhlk nicht der erste war, der Milchezucker mit Ammoniak zur Reaktion brachte: Bereits 1898 veröffentlichten Umikoff [8] und – darauf fußend – 1900 Sieber [9], beide St. Petersburg, Untersuchungen, die sich auf Muttermilch bezogen und die eine ähnliche Farbreaktion beschrieben. Umikoff ging es dabei um eine Art Qualitätskontrolle für die angelieferte Ammenmilch, mit der ausgesetzte Säuglinge im Waisenhaus versorgt wurden. Sieber hingegen führte systematische Untersuchungen zur Reaktion mit Aminen durch.

In beiden Schriften finden sich Beschreibungen, die beim Nachvollzug Rätsel aufgeben. So schreibt zum Beispiel Umikoff, „dass die Frauenmilch dabei stets eine roth-violette Farbe annahm, während die Kuhmilch unter denselben Bedingungen nie solch eine Verfärbung zeigte.“ Dies sieht in dem vom Autor durchgeführten Experiment ganz anders aus:

Die Farbe der Muttermilchprobe könnte man auch nach heutigem Ermessen rotviolett (RAL 4002) bezeichnen, die Vollmilchprobe als beigeroth (RAL 3012) und die Lactoseprobe wieder als lachsrot (RAL 3022) bezeichnen (Abb. 3). Umikoff gibt weiter an, dass die rote Farbe bei Muttermilch auch beim bloßen Stehenlassen bei Raumtemperatur entstehen würde; dies konnte nicht nachvollzogen werden.

Leicht irreführend schreibt Umikoff weiterhin: „Eine unbedingte Einwirkung auf die Stärke der Reaction zeigt aber das Alter der Milch.“ Wie sich aus dem Zusammenhang ergibt, meint Umikoff – und später auch Sieber – damit Muttermilch aus einer späteren Laktationsperiode. Die Milch, die ein Baby sechs Monate nach seiner Geburt bekommt, würde man im heutigen Sprachgebrauch aber nicht als „älter“ bezeichnen. Sie enthält weniger Proteine und mehr Kohlenhydrate als die allererste Milch, die ein Baby erhält. Deshalb fand Sieber bei Milch „9 Tage nach der Geburt“ eine sehr schwache Umikoff'sche Reaktion“ und bei „6 Monate und 4 Tage“ eine „sehr starke Umikoff'sche Reaktion“ [9].

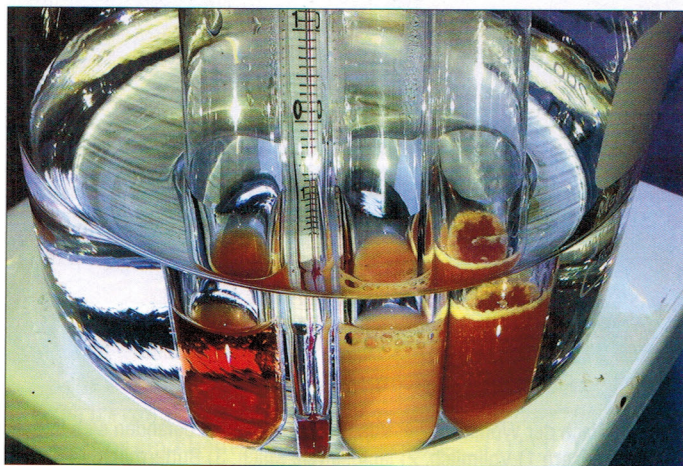


Abb. 3: Jeweils 2 mL 5%ige Lactose-Lösung, Vollmilch, Muttermilch (v.l.n.r.) wurden jeweils mit 2 mL 10%iger Ammoniaklösung und 3 Tropfen 1-molarer KOH für 30 Minuten in ein 60 °C heißes Wasserbad gesetzt.

3.1 Eine der ersten „Ladies of the Laboratory“ war beteiligt

Über Sieber lässt sich im Internet nur sehr schwer etwas finden. Da die Arbeiten aus St. Petersburg stammten, wurde eine kyrillische Schreibweise ausprobiert:

Надина Зибер

Aber dies brachte keinen Erfolg. Eine weitere Überlegung war, dass bei den Wirren der damaligen Zeit evtl. eine Rückübertragung ins Deutsche stattfand, und da sich das russische gesummte S dem Sütterlin-Z ähnelt, könnte etwas Derartiges dabei herauskommen:

Nadine Ziber

Abb. 4: Nadine Ziber in Sütterlin-Schreibweise

Bei der Suche nach Nadine Ziber öffnet sich eine Seite der Sächsischen Akademie der Wissenschaften [10] mit allen Schreibweisen des Namens und einem erstaunlichen und beachtlichen Lebenslauf, der 1854 in Samara an der Wolga beginnt, Vorlesungen bei Mendelejew aufweist und über den Abschluss als Dr. med. in Bern nach St. Petersburg zur Leitung des Kaiserlichen Instituts für Experimentelle Medizin führt. Somit war Nadeschda Olimpievna Ziber-Shumova die allererste Frau in einer Leitungsfunktion in Russland und eine der ersten „Ladies in the Laboratory“ [11].

4 Dublin: „These ammonium hydroxide tests are erratic and untrustworthy!“

Ungefähr 40 Jahre später verwendet der Biochemiker und Politiker Fearon (Abb. 5) in Dublin den Stoff Methylamin – exakter: Methylaminhydrochlorid oder Methylammoniumchlorid – [12] und kommt zu



Abb. 5: William Robert Fearon (oben rechts) erfand „Fearon's Methylamine Test“.

Foto: Archive of the University of Dublin

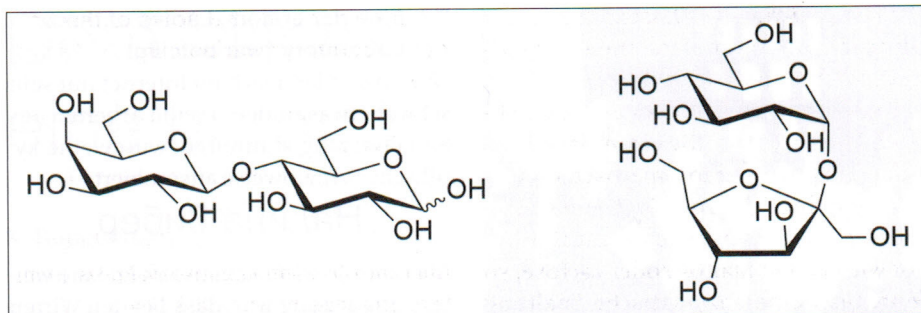


Abb. 6: Milchzucker (links) im Vergleich zu Rübenzucker (rechts)

denselben Färbungen wie bei der Verwendung von Ammoniakwasser. Daraufhin verbreitet sich vorwiegend im englischen Sprachgebiet die Bezeichnung „Fearons Test“, der sich im 10. Nachdruck eines indischen Lehrbuchs wiederfinden lässt [13] und bei Youtube als (hier unkommentiertes) Kurzvideo sichtbar ist [14].

In Deutschland und dem angrenzenden Europa hat sich hingegen die Wöhlk-Malfatti-Probe als Standardnachweis für Lactose etabliert [15, 6]. Wägt man die Reagenzien Ammoniak und Methylamin in einer Gefährdungsbeurteilung gegeneinander ab [16, 17], so stellt sich heraus, dass 10%-ige Ammoniaklösung mittlerweile gefährlicher eingestuft ist als das primäre Amin, das aus Methylammoniumchlorid in wässriger Lösung angewendet wird. Wegen der leichteren Verfügbarkeit von Salmiakgeist ist jedoch in öffentlichen Schulen der Wöhlk-Malfatti-Reaktion der Vorzug vor „Fearon's Test“ zu geben. Fearon selbst war natürlich anderer Meinung: „I have found these ammonium hydroxide tests erratic and untrustworthy.“ [12]

5 Schon seit der Jungsteinzeit ist Lactose ein bedeutsames Thema

Warum ist die Untersuchung von Milchzucker, Milchprodukten und lactosefreier Milch so interessant? Schon bei Hippokrates (460–370 v. Chr.) war bekannt, dass der Genuss von manchen Milchprodukten bei manchen Menschen zu Problemen führen kann. Die chemische Bindung zwischen den beiden Bausteinen Glucose und Galactose in der Lactose ist ungewöhnlich stark [18], und wenn sie im Dünndarm nicht enzymatisch gespalten werden kann, dann gelangt sie unverdaut in den Dickdarm, wo sie mitunter heftige Probleme verursacht [19]. Andererseits ermöglichten erst vitaminreiche Milchprodukte das Überleben im nord-europäischen Winter und somit trug die Möglichkeit der Milchviehhaltung zur dauerhaften Besiedelung Skandinaviens und der Alpen bei [20].

Aus allen diesen Gründen ist es lohnenswert, im Chemieunterricht den unterschiedlichen Lactosegehalt von Milchprodukten zu untersuchen. Darüber hinaus wird das Basiskonzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen um ein weiteres einleuchtendes Beispiel erweitert.

6 Nachweis von Lactose mit Ammoniak und Kalilauge (Wöhlk-Malfatti-Probe) [21]

Zeitansatz: 45 Minuten

6.1 Geräte und Chemikalien

Heizplatte, 1000 mL-Becherglas, ein Thermometer (-10–100 °C), dest. Wasser, wasserfester Stift, PP-Einmalpipetten 3 mL, 12 Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Schutzbrille, Smartphone oder Digitalkamera, Ammoniak-Lösung ($w(\text{NH}_3) = 10\%$) („Salmiakgeist“) (!, H314, H335), Kalilauge ($c(\text{KOH}) = 1 \text{ mol/L}$ (H314, H290), verschiedene möglichst naturbelassene Milchprodukte, Lactose, Fructose, Glucose, Galactose, Saccharose.

6.2 Durchführung

In einem 1000 mL-Becherglas werden 300 mL Wasser auf 60 °C erhitzt.

Von unterschiedlichen Milchprodukten aus einem Supermarkt werden je 2 mL mit Einmalpipetten in nummerierte Reagenzgläser pipettiert. Damit der Nachweis nicht gestört wird, dürfen die Milchprodukte keine roten Farbstoffe oder Glucose oder Fructose beinhalten. In diesem Beispiel wurden verwendet: 1) Vollmilch, 2) lactosefreie Milch, 3) Buttermilch, 4) Kefir, 5) Naturjoghurt, 6) Kaffeesahne, 7) Saure Sahne.

Je nach Viskosität der Milchprodukte müssen die Spitzen der Einwegpipetten etwas gekürzt werden.

In fünf weitere Reagenzgläser werden jeweils 50 mg der oben genannten Zucker gegeben und in 2 mL Wasser gelöst (Abb. 7).

Anschließend werden jeweils 2 mL Ammoniaklösung sowie 3 Tropfen Kalilauge hinzu pipettiert und vorsichtig, aber



Abb. 7: Reagenzgläser vor der Wöhlk-Probe: Nr. 1–7: Milchprodukte (links), Nr. 8–12: Zuckerlösungen (rechts).

Foto: Klaus Ruppertsberg

(© WILEY, Abdruck mit Genehmigung von John Wiley and Sons)



Abb. 8: Nach der Wöhlk-Probe: Von links nach rechts befanden sich in den Reagenzgläsern 1) Vollmilch, 2) lactosefreie Milch, 3) Buttermilch, 4) Kefir, 5) Naturjoghurt, 6) Kaffeesahne, 7) Saure Sahne, 8) Lactose, 9) Fructose, 10) Glucose, 11) Galactose, 12) Saccharose.

Foto: Klaus Ruppertsberg

(© WILEY, Abdruck mit Genehmigung von John Wiley and Sons)

gründlich geschüttelt, damit sich alles gut durchmischt. Dann werden die Reagenzgläser in das heiße Wasserbad gestellt und für mindestens 15 Minuten dort belassen, bis die Farben der Proben sich gut entwickelt haben. Alle 5 Minuten erfolgt eine Sichtkontrolle mit Fotodokumentation.

Nach spätestens 30 Minuten werden alle Reagenzgläser aus dem Wasserbad geholt.

6.3 Beobachtung und Auswertung

Je nach Lactosegehalt des untersuchten Milchprodukts ergibt sich eine unterschiedlich starke rote Färbung. Lösungen von Fructose, Glucose und Galactose ergeben in Nuancen unterschiedliche Gelbfärbungen, die Saccharoselösung bleibt klar und farblos (Abb. 8).

7 Weiterführendes

Wie schon zuvor erwähnt, wird der Lactosenachweis nach Wöhlk in modernen Laboratorien nicht mehr ausgeführt. Hier bieten sich seit den 1950er Jahren chromatographische Methoden an [7]. Dünnschichtchromatographie bietet sich nur dann an, wenn man viel Zeit hat, denn für eine Platte mit 20 cm Länge sind bei einem Laufmittel auf Wasserbasis 3–5 Std. Laufzeit keine Seltenheit. Interessant ist, dass eine Technik erfunden wurde, bei der das Laufmittel aus einem Reservoir von oben nach unten läuft und somit durch die Ausnutzung der Schwerkraft die Laufzeit verkürzt [22]. Auch wird beschrieben, dass eine Kupplung des zu untersuchenden Zuckers an Benzylamin eine Beschleunigung der Chromatographie erreichen kann [23]. Das Zentralinstitut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr, Abt. Lebensmittelchemie, in Kronshagen bei Kiel verwendet einen Gaschromatographen. HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) ist eine technische Erweiterung der Gaschromatographie, jedoch sind die zur Auftrennung eingesetzten Säulen teuer und die Besitzer solcher Geräte haben Angst vor Verschmutzung und Unbrauchbarwerden. Mit einer Vorsäule, die bei Verschmutzung ausgetauscht werden kann, ist auch HPLC eine Methode zur Analyse von verschiedenen Zuckern [24].

Mit einem Glucometer für den Diabetikerbedarf haben Heinzerling et al. [25] eine sehr schöne Analytik beschrieben, bei der die eigentliche Messung amperometrisch erfolgt. In der Arztpraxis und im Kliniklabor sind heutzutage Test-Sets üblich, wie man sie in einfacher Form vom Zuckerteststreifen aus der Apotheke kennt. Die darauf stattfindende Glucose-

Oxidase-Reaktion (GOD) ist spezifisch für Glucose. Für das professionelle lebensmittelchemische Labor gibt es eine komplexere Variante mit einem Set aus mehreren Flüssigkeiten. Die eigentliche Messung erfolgt wieder fotometrisch und ist sehr empfindlich [26]. Liegt keine freie Glucose, sondern nur gebundene Glucose vor wie etwa in Maltose oder Lactose, so führt man eine enzymatische Spaltung durch und bestimmt die vorher vorhandene Menge des Disaccharids aus der nachgewiesenen Menge des Einzelbestandteils. Etwas schwieriger wird es, wenn die Probe – wie viele moderne Lebensmittel – zusätzlich Glucose oder eine Glucose-Fructose-Mischung oder auf andere Weise getarnte Zuckerzusätze enthält. Dann muss man entweder zwei Messungen durchführen – vor der enzymatischen Spaltung und nach der enzymatischen Spaltung – oder durch einen geeigneten „Remover“ die ungewünschten Glucoseanteile entfernen [27]. ■

Literatur

- [1] A. Wöhlk, Über eine neue Reaktion auf Milchzucker (und Maltose). *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* 43 (11), S. 670–679, (1904)
- [2] P. Grob, Einfache Schulversuche zur Lebensmittelchemie, Aulis Verlag Deubner und Co. KG, Köln 2000, S. 65–66
- [3] www.axel-schunk.de/experiment/edm1211.html (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [4] Ch. Fleiss, Kohlenhydrate im Unterricht. *Plus Lucis* 1-2/2013, (2013), S. 40–41
- [5] H. Malfatti, Über den Nachweis von Milchzucker im Harn. *Centralblatt für die Krankheiten der Harn- und Sexualorgane*. Georg Thieme Verlag, Leipzig 1905, S. 68–71
- [6] Siegfried GmbH, Das Labor des Arztes, Säckingen 1962, S. 30
- [7] H. Bartelheimer, W. Heyde und W. Thorn (Hrsg.), D-Glucose und verwandte Verbindungen in Medizin und Biologie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1966, S. 690–691
- [8] N. Umikoff, Zur differentiellen Reaction der Frauen- und Kuhmilch und über die Bestimmung der Lactationsdauer in der Frauenbrust. *Aus dem chemischen Laboratorium des kaiserlichen Findelhauses in St. Petersburg, Jahrbuch für Kinderheilkunde*. Leipzig 1896, S. 356–359
- [9] N. Sieber, Ueber die Umikoff'sche Reaction in der Frauenmilch. *Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiologische Chemie* 30 (1 und 2), S. 101–106 (1900)
- [10] drw.saw-leipzig.de/31165.html (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [11] T.V. Denisenko, Y.P. Golikov, Nadezhda O. Ziber-Shumova: the first Russian woman-Professor of biochemistry. *FEBS Journal* 280 (1), S. 618 (2013)
- [12] W.R. Fearon, The detection of lactose and maltose by means of methylamine, *The Analyst* 67, S. 130–132 (1942)
- [13] J. Ochei, *Medical Laboratory Science*, New Delhi 2000
- [14] [youtube.com/watch?v=0QD3rhZMUvQ](https://www.youtube.com/watch?v=0QD3rhZMUvQ) (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [15] G. Frerichs, G. Arends, H. Zörnig, *Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis*. Julius Springer Verlag, Berlin 1938, S. 1244
- [16] experimentas.de/experiments/view/1429 (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [17] gestis.itrust.de, Suchworte: Methylammoniumchlorid, Ammoniak (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [18] A. Töpel, *Chemie und Physik der Milch*, Behr's Verlag, Hamburg 2004
- [19] F. Höffler, Geschichte und Evolution der Lactose(in)toleranz. *Biologie in unserer Zeit* 39, S. 378–387, (2009)
- [20] A. Curry, The milk revolution. *Nature* 500, S. 20–22 (2013)
- [21] K. Ruppertsberg, J. Hain, Wie kann der Lactosegehalt von Milchprodukten im Schulexperiment sichtbar gemacht werden? *ChemKon* 23 (2), S. 90–92 (2016)
- [22] C.L. Bowers jr., Descending Paper Chromatography of Oligosaccharides. *Journal of Chemical Education* 49 (6), S. 437–438 (1972)
- [23] F. Hoppe-Seyler, *Bausteine des Tierkörpers*, 3. Band, I. Teil, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1955, S. 660
- [24] lci-koeln.de/deutsch/veroeffentlichungen/lci-focus/zucker-analytik-gestern-und-heute (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [25] P. Heinzerling, F. Schrader, S. Schanze, Measurement of Enzyme Kinetics by Use of a Blood Glucometer: Hydrolysis of Sucrose and Lactose. *Journal of Chemical Education* 89 (12), S. 1582–1586 (2012)
- [26] www.r-biopharm.com/wp-content/uploads/4074/Lactose-Glucose_DE_10986119035_2014-02.pdf (Letzter Zugriff 28.6.2016)
- [27] www.r-biopharm.com/de/produkte/lebensmittel-futtermittelanalytik/inhaltstoffe/enzymatische-analytik/enzytec-generica-line/testkits/item/enzytectm-glucose-remover (Letzter Zugriff 28.6.2016)

Anschrift des Verfassers:

Klaus Ruppertsberg
Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik (IPN),
Abt. Chemiedidaktik
Olshausenstr. 62, 24118 Kiel
ruppertsberg@ipn.uni-kiel.de